

## 杭頭結合条件を考慮した橋梁杭基礎の設計法に関する研究

著者	浅間 達雄
号	637
発行年	1982
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/11586">http://hdl.handle.net/10097/11586</a>

氏 名	あさ 浅 間 達 雄
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 57 年 12 月 8 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 30 年 3 月 東京大学工学部土木工学科卒業
学 位 論 文 題 目	杭頭結合条件を考慮した橋梁杭基礎の設計法に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 倉西 茂    東北大学教授 尾坂 芳夫 東北大学教授 柳沢 栄司    東北大学教授 三浦 尚

## 論 文 内 容 要 旨

- (1) 橋梁杭基礎は最近の短時日の間に急速な発展を遂げたが、その過程は鋼、あるいはプレストレスト・コンクリートなどの新材料、ならびに新工法による施工が先行し、その設計、計算の手法は後追いの形をとっている。

したがって、異種材料の結合となる、杭とフーチングの結合部の構造は多種多様で、その設計手法も統一がとれていない。とくに杭自体の強度が大となって、その耐力が増大するにしたがって、フーチングとの結合部に作用する力も大きくなっている。

また、杭とフーチングとの結合部は、橋梁上部工からの荷重が地盤に伝わる機構の中で、応力の流れが急変する箇所でもあるので、その設計計算が非常に重要であることは論をまたない。

また、杭基礎全体の計算方法についても、従来の地杭的な杭基礎の設計に代って、橋梁の上部工からの荷重を、一旦すべて杭に移行させてから、地盤に伝える近代的な計算方法が、指針という形で始めて公表されたのは昭和39年になってからである。

当時、一般に行われている杭基礎の設計とも必ずしも一致せず、どちらかといえば、それらの多岐に亘った設計方法の矛盾、あるいは考え方の相違をできるだけ統一あるものにしようとするのが第一の目的であり、指針で定めた計算方法も全面的に承認されたものでなく、今後、多くの実験が行われて、この内容がさらに充実することを望む程度であった。

- (2) 著者は先ず、従来から行われていた数多くの杭とフーチングとの結合部の構造を調査し、それら

の中で最も確からしい細部構造を組合せて二つの構造を推奨した。

杭とフーチングとの結合を剛結とする場合には、軸方向力、水平力、および杭頭曲げモーメントが作用するが、杭頭曲げモーメントの取扱いによって二つの構造となる。埋込み型はフーチング内に埋込んだ杭部によって受ける方法であり、鉄筋定着型は杭頭部上方のフーチング内に鉄筋を延長し、鉄筋コンクリートとして受ける方法である。フーチング内への杭の埋込み長の大きいものが前者であり、小さいものが後者である。

この研究成果は建設省道路局より全国に道路橋示方書の補完として通達が出され、この後は道路橋に関してはすべて、この二つの構造のいずれかが利用されることとなった。

この結合構造の裏付けは、この研究報告の中で簡単な実験結果と併せて公表してあるが、通達後も方々で、多くの実験が行われ、その耐力、あるいは照合方法の妥当性が立証されている。

しかしながら、当初、私が考えていた鋼管杭の杭頭の蓋板については、蓋板自体の応力、あるいはそれを介してフーチングに伝わるフーチングのコンクリートの支圧応力についても、もちろん設計計算以下の応力であったが、蓋板を省略して中詰コンクリートを代りに打設したものと比較して有意の差がなかった。施工性、あるいは経済性から中詰コンクリートの方が遥かに優れており、実験結果においても、鋼管内にコンクリートを中詰した方が応力の伝達も円滑で、鋼管の座屈に対する補剛効果について大きな利点があることを、最近の研究で明白にした。

この論文でも、中詰コンクリートを打設した鋼管杭で、鉛直方向、および水平方向の挙動を検討して、その優位性を結論づけてある。

- (3) 当初から気付いていたことではあったが、数多くの杭とフーチングの結合部の水平載荷試験の結果、単純に完全剛結と片付けていた、杭頭部の回転角が零でないことが明らかにされている。すなわち、(2)においては、杭頭部の応力の検討がなされたが、(3)においては変位の検討を行うものである。現在、一般に行われている杭頭部の結合構造は厳密な意味では完全剛結でなく、有限の杭頭回転バネ定数を持っている。

杭頭回転バネ定数は $\infty$ が完全剛結であり、0が完全ヒンズである。実験結果によると、現在の結合構造の杭頭回転バネ定数は $10^3 \text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad} \sim 10^4 \text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ である。

従来の杭基礎全体の設計計算においては、杭頭の拘束条件は完全剛結か、完全ヒンズの場合の公式しかなかったので、これらの杭頭回転バネ定数は簡単な補正に使われるのみであった。すなわち、従来の公式で、1本の杭の杭頭曲げモーメントなどの数値を算出し、剛結度と称する係数を乗じて補正している。

剛結度は杭頭回転バネ定数の無限大と有限値との比で表わされるが、この剛結度は杭頭回転バネ定数が $10^4 \text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ 程度でも、90%近くの値になる。

したがって補正された杭頭曲げモーメントの値も90%に減ずるのみであり、杭頭の水平変位量も1割乃至2割増大することになる。

著者は杭頭回転バネ定数という数値を導入して、半剛結の状態であっても、当初の杭基礎全体の計算方法を確立することができた。その計算式による試算例では $10^4 \text{ t}\cdot\text{m}/\text{rad}$ の杭頭回転バネ定数では杭頭曲げモーメントは杭頭回転バネ定数が $\infty$ の場合の半分以上で、地中部の最大曲げモー

メントもこの値に近づく。従来のとび抜けて大きい杭頭曲げモーメントによって定められていた杭の不経済な断面寸法が小さくなると同時に、杭全体の曲げモーメントの分布が均一化するので、全体工事費も80～90%に減少することが明らかになった。しかも水平変位量は曲げモーメントの大幅な減少にも拘らず、完全剛結の場合の10%程度の増にしかない。

- (4) 杭の水平変位量に対する規制値としては許容変位量と基準変位量がある。許容変位量は上部構造の機能と安全から制約される値であり、基準変位量は杭基礎の剛性を確保するために必要とされている。

すなわち、本来、杭に水平力が作用すると、地表面近くの地盤は破壊、あるいは塑性化して、反力は激減する筈であるが、計算の繁雑さを避けるために、地表面で変位に比例する最大反力を認めた計算式を用いている。

したがって、危険な設計にならないように杭頭の水平変位量を10～15mm程度に制限すると同時に、杭の横方向地盤反力係数も水平載荷試験の際の杭の水平変位量から逆算して定めてある。この10～15mmという値が基準変位量であるが、これは上部構造より制限される許容変位量より遥かに小さいので、杭基礎の杭本数、あるいはその断面寸法すべてこの基準変位量で定まることになる。

(3)において、杭頭回転バネ定数が有限値になると、水平変位量が10%程度増大することになったので、現在の計算方式を用いると、地表面の反力をさらに大きくとることになり、危険側の設計になる恐れがある。ここでは杭頭回転バネ定数導入を円滑にするため、水平変位量の算出の原点に戻って、基準変位量の合理的な定め方を追及した。

前述したように現在の杭基礎の計算においては、水平反力は杭頭の水平変位量に横方向地盤反力係数を乗じて算出されるので、水平変位量は実際と常に一致するが、杭の曲げモーメントの分布に関しては確認のしようがない。

著者は杭にストレインゲージを密に貼布して杭の応力の許容する限り、大変位させた水平載荷試験結果を用い、杭の曲げモーメント分布の観点から、水平変位量の検討を行った。

その結果、従来の杭の計算値に対し杭の曲げモーメント増加率が減り始める深さが深いこと、杭の最大曲げモーメントの値が大きいこと、および杭の曲げモーメントが零になる深さが意外に浅いことが判明した。この傾向は載荷重を増して変位量が大きくなるとくに顕著であるが、従来、数多くの水平載荷試験が行われているのは、実構造物の杭を使用しているため、水平変位量の小さい範囲であること、およびストレインゲージの計測のないことなどから、この傾向を把握することができなかったと思われる。

この傾向を解析すれば、塑性化している地表面からある深さまでの反力のとり方に問題がある。地中部の杭反力をとり始める点を浅くすればする程、杭の曲げモーメント増加率の減少点は浅くなり、最大曲げモーメントの値は小となって、曲げモーメントの零になる点は深くなる。

私は従来の横方向地盤反力係数を水平変位量に応じて変化させる方法とは別に、地表面から反力を無視する深さを変化させて検討を行った。この反力を無視する深さは、その深さにおける地盤の極限支持力（受働土圧）と、作用力で定まるが、この観点から検討した結果、荷重の増大に

伴う杭の曲モーメント分布の計算値と実測値が一致した。

さらに、これらの解析はすべて曲げモーメント分布を主眼に行ったが、チェックとして水平変位量の照合を行ってみると、これも計算値と実測値が一致した。この場合に用いた横方向地盤反力係数は荷重の大きさ、水平変位量の大小に拘らず一定であり、従来の横方向地盤反力係数のとり方より合理的であることも明らかになった。

- (5) 杭の横抵抗に関して、弾性区域と塑性区域の境界は極限支持力と作用力で一義的に定まるものであり、基準変位量は、その深さにおける水平極限支持力を横方向地盤反力係数で除した値である。基準変位量とは杭の弾性許容変位量のことであり、その値は弾塑性境界面で定まるもので、杭頭の位置で定めるべきものではない。

この考え方によれば、変位量を10～15 mmに制約することもなくなり、大変位量に応じた反力のとり方も説明できるし、変位量を小さくしたい場合には、フーチングの設置深さを深くすれば、杭頭部地盤極限支持力が大となり、杭頭から反力を作用できるので、先人の「フーチングはできる限り深くする」という教えの裏付にもなる。

現在の橋梁杭基礎の設計範囲は、水平変位量に関しては15 mm以内、杭頭の回転バネ定数は $\infty$ か零という非常に局限された範囲で、設計にも無理があれば、経済的にも問題がある。

現在の杭とフーチングとの結合構造にしたがった杭頭回転バネ定数を導入した計算を行い、算出された水平変位量に応じた解析を行うことができれば、現行の杭基礎の設計範囲は大きく広げられることになる。

したがって、杭基礎の微小変位から大変位まで、さらに破壊に至る機構を地盤の極限支持力と杭頭の回転の両観点から、忠実に追跡することが可能になったことは、杭基礎の極限耐力まで把握した上で、経済性、安全性の最も優れた段階を実際の杭基礎に適用することになる。

## 審 査 結 果 の 要 旨

杭基礎は、古くより用いられて来た経済的な基礎構造であるが、その使用目的が主に上部構造等の鉛直荷重の地盤への伝達、あるいは地盤耐荷力の向上等にあった。しかし、近年信頼性の高い、高強度の杭の開発、ならびに施工技術の発達に伴い、杭頭を連結し下部構造を一体構造とし、地震力その他の水平荷重にも抵抗させる設計が行われるようになった。しかし、その荷重伝達機構は複雑であり、設計法の確立が急がれていた。

本論文は、一体構造としての杭基礎について、強度と剛性の面より論ずると共に、水平変位に対する許容値を新しい観点より定め、具体的な設計法を提案する目的で行った一連の研究成果をまとめたもので、全編6章よりなる。

第1章は序論であり、杭基礎の発展の歴史を述べ、その急速な発達に対し、設計法の確立の立ち遅れ等の問題点を指摘している。

第2章は、鋼管杭、PC杭等とフーチングとの結合部の構造について実験を行い、その強度特性を明らかにし、その設計計算法について論じ、新しい結合構造の提案をあわせ行っている。本研究の一部は道路橋の示方書にも取り入れられ、極めて有用な知見と言える。

第3章は、杭とフーチングとの結合部の剛度について究明を行い、その剛性を考慮することにより、従来の設計法より、合理的な杭基礎の設計が行えることを述べている。さらに、結合剛性の影響を取り入れた設計計算式の提案を行い、具体的な計算例により、杭基礎が非常に経済的に設計し得ることを立証している。

第4章では、杭とフーチングとの結合剛性についての実験値を整理・検討し、その剛性の算出法についての提案を行っている。

第5章では、従来、杭の許容水平変位を極めて小さい値にとり設計が行われていたのに対し、杭の横抵抗特性を究明し、地盤の極限支持力を考慮することにより、より合理的な設計ができることを述べ、大規模実験によってその理論構成が正しいことを立証している。さらに、従来同様に簡便でありながら、精度において遥かに高い、新しい計算方法を提案している。これは、杭基礎設計に大きな進歩をもたらすものと言える。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は杭頭とフーチングの結合構造機構、および杭の横抵抗特性を解明し、水平力に対する合理的設計法を確立したものであり、基礎工学ならびに橋梁工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。